ГУАП
Кафедра № 3

Отчет
Защищен с оценкой

Преподаватель

доцент, к.ф-м.н, доцент	28.02.2018	Ю.М. Царев
должность, уч. степень, звание	подпись, дата	инициалы, фамилия

Отчет о лабораторной работе № 2
„ Машина Атвуда"
по курсу: Общая физика

Работу выполнила
Студентка гр.

Санкт-Петербург
2018

Лабораторная работа № 2
„Машина Атвуда"
Протокол измерений

Студент группы

Преподаватель

Царев Ю. М

Параметры приборов

Название прибора	Предел измерений	Цена деления	Класс точности	Систематическая погрешность
Секундомер	1 мс	99,999 с	–	0,001 с
Линейка	0,1 см	50 см	–	2 мм

S_1 = 13 см

Таблица 1

N	1			2			3			4			5		
S_2, см	21.			22			23			24			25		
t_2, с	0,634	0,621	0,625	0,666	0,650	0,662	0,683	0,682	0,681	0,728	0,709	0,725	0,730	0,827	0,808

Таблица 2

S_1 = 18 см

N	1			2			3			4			5		
S_2, см	19			18			17			16			15		
t_2, с	0,427	0,428	0,421	0,434	0,431	0,432	0,446	0,454	0,449	0,462	0,466	0,461	0,483	0,479	0,485

m_1 = 60,4 г. m_2 = 8 г

Дата 21.02.2018

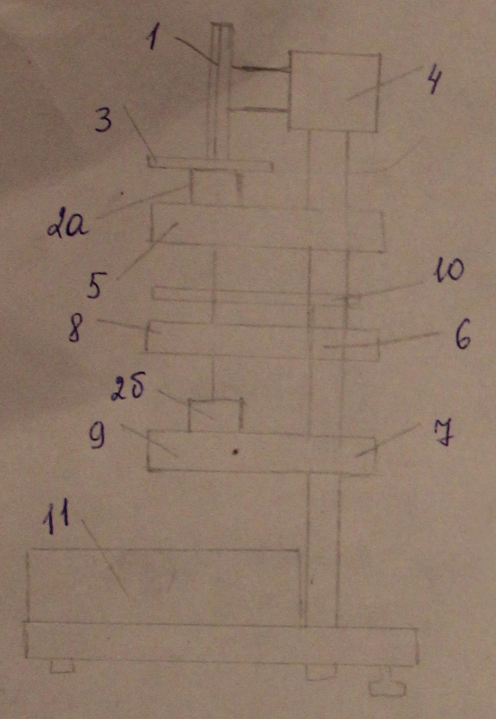
Подпись студента

Подпись преподавателя

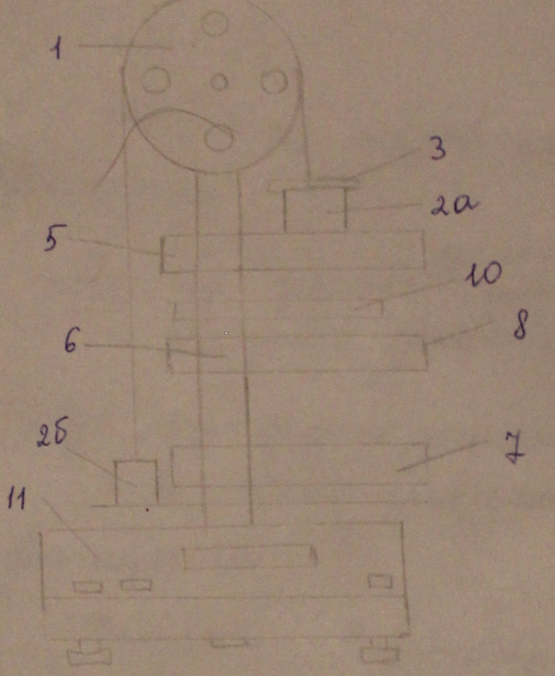
① Цель работы:
Исследование равномерного и равноускоренного прямолинейного движения.

② Описание лабораторной установки

а) вид установки сбоку



б) вид установки спереди



1- блок 1, через который проходит нить с большими грузами 2а и 2б; 3- дополнительный небольшой грузик-кольцо; 4- электромагнит; 5,6,7- три подвижных кронштейна; 8,9- фотоэлектрические датчики; 10- дополнительная полочка; 11- лицевая панель установки.

Параметры установки

Таблица 2.1.

Прибор	Цена деления	Предел измерений	Систематическая погрешность
Секундомер	1 мс	99,999с	0,001 с
Линейка	0,1см	50 см	2 мм

5. Примеры вычислений.

По формуле (2) скорость при равномерном движении

$$v = \frac{0{,}21}{0{,}634} \approx 0{,}331 \left(\frac{м}{с}\right)$$

По формуле (1) - ускорение при равномерном движении

$$a = \frac{0{,}21^2}{2 \cdot 0{,}13 \cdot 0{,}634} = 0{,}268 \left(\frac{м}{с^2}\right)$$

По формуле (2) скорость при равноускоренном движении

$$v = \frac{0{,}19}{0{,}427} = 0{,}445 \left(\frac{м}{с}\right)$$

По формуле (1) ускорение при равноускоренном движении

$$a = \frac{0{,}19^2}{2 \cdot 0{,}427 \cdot 0{,}18} \approx 0{,}235 \left(\frac{м}{с^2}\right)$$

6. Вычисление погрешностей.

6.1 Вывод формул систематической погрешности.

$$\Theta_f = \left|\frac{\partial f}{\partial x_1}\right| \cdot \Theta_{x_1} + \left|\frac{\partial f}{\partial x_2}\right| \cdot \Theta_{x_2} + \left|\frac{\partial f}{\partial x_3}\right| \cdot \Theta_{x_3} \ldots$$

$$\Theta_f = |f'_{x_1}| \cdot \Theta_{x_1} + |f'_{x_2}| \cdot \Theta_{x_2} + |f'_{x_3}| \cdot \Theta_3 \ldots$$

$$\Theta_v = v\left(\frac{\Theta_{S_2}}{S_2} + \frac{\Theta_t}{t}\right); \quad \Theta_a = a\left(\frac{\Theta_{S_1}}{S_1} + \frac{2\Theta_{S_2}}{S_2} + \frac{2\Theta_t}{t}\right),$$

где $\frac{\partial f}{\partial x_i}$ - частные производные ф-ии $f(x_1; x_2, x_3 ..)$ по соответствующей переменной x_i; $\Theta_{x_1}, \Theta_{x_2}; \Theta_{x_3} \ldots$ - систематическ погрешности прямых измерений; f'_{x_i} - частная производная ф-ии $f(x_1, x_2, x_3 ..)$ по соответствующей переменной x_i; Θ_f - систематическая погрешность косвенного измерения.

Вычисление погрешностей по выведенным формулам:

6.1.1

$$\Theta_{v_1} = v_1\left(\frac{\Theta_{S_2}}{S_2} + \frac{\Theta_t}{t_1}\right) = 0{,}331 \cdot \left(\frac{0{,}002}{0{,}21} + \frac{0{,}001}{0{,}634}\right) \approx 0{,}0037 = \left(\frac{м}{с} = 0{,}004 \frac{м}{с}\right)$$

$$\Theta_{v_{15}} = v_{15}\left(\frac{\Theta_{S_2}}{S_2} + \frac{\Theta_t}{t_{15}}\right) = 0{,}309 \left(\frac{0{,}002}{0{,}25} + \frac{0{,}001}{0{,}808}\right) \approx 0{,}0029 \left(\frac{м}{с}\right) \approx 0{,}003 \frac{м}{с}$$

$$\Theta_{a_1} = a_1\left(\frac{\Theta_{S_1}}{S_1} + \frac{2 \cdot \Theta_{S_2}}{S_2} + \frac{2\Theta_t}{t}\right) \approx 0{,}267 \cdot \left(\frac{0{,}002}{0{,}13} + \frac{2 \cdot 0{,}002}{0{,}21} + \frac{2 \cdot 0{,}001}{0{,}634}\right) \approx 0{,}0160 \left(\frac{м}{с}\right.$$

$\Theta_{a_{15}} = a_{15}\left(\frac{\Theta_{s_1}}{S_1} + \frac{2\cdot\Theta_{s_2}}{S_2} + \frac{2\Theta_t}{t}\right) = 0{,}297\cdot\left(\frac{0{,}002}{0{,}13} + \frac{2\cdot 0{,}002}{0{,}25} + \frac{2\cdot 0{,}001}{0{,}827}\right) \approx 0{,}012 \left(\frac{м}{с^2}\right)$

Данные вычисления были найдены для равномерного движения, где Θ_{s_1}, Θ_{s_2}, Θ_t, даны в условии и равны:

$\Theta_{s_1} = \Theta_{s_2} = 0{,}002$ м

$\Theta_t = 0{,}001$ с

$\Theta_{v_1} = v_1\left(\frac{\Theta_{s_1}}{S_1} + \frac{\Theta_t}{t_1}\right) = 0{,}445\cdot\left(\frac{0{,}002}{0{,}19} + \frac{0{,}001}{0{,}427}\right) \approx 0{,}0057\left(\frac{м}{с}\right) = 0{,}006\ \frac{м}{с}$

$\Theta_{v_{15}} = 0{,}309\left(\frac{0{,}002}{0{,}15} + \frac{0{,}001}{0{,}485}\right) = 0{,}0047\left(\frac{м}{с}\right) = 0{,}005\left(\frac{м}{с}\right)$

$\Theta_{a_1} = 0{,}235\left(\frac{0{,}002}{0{,}18} + \frac{2\cdot 0{,}002}{0{,}19} + \frac{2\cdot 0{,}001}{0{,}427}\right) = 0{,}02026543 \approx 0{,}020\left(\frac{м}{с^2}\right)$

$\Theta_{a_{15}} = 0{,}129\left(\frac{0{,}002}{0{,}18} + \frac{2\cdot 0{,}002}{0{,}15} + \frac{2\cdot 0{,}001}{0{,}485}\right) = 0{,}01112873 \approx 0{,}011\left(\frac{м}{с^2}\right)$

Данные вычисления были найдены для равноускоренного движения, где $\Theta_{s_1} = \Theta_{s_2} = 0{,}002$(м); $\Theta_t = 0{,}001$(с)

(6.2) Для вычисления квадратичной погрешности и для среднего квадратичного отклонения понадобятся значения $v_{ср}$ и $a_{ср}$ (среднее значение скорости и ускорения).

По формуле (3),(4) найдем средние значения для равномерного движения

$v_{ср} = \frac{(0{,}331 + 0{,}338 + 0{,}336 + 0{,}330 + 0{,}352 + 0{,}332 + 0{,}337 + 0{,}337 + 0{,}338 + 0{,}330 + 0{,}338 + 0{,}331 + 0{,}324 + 0{,}302 + 0{,}309)}{15} = 0{,}334\left(\frac{м}{с}\right)$

$a_{ср} = \frac{(0{,}267 + 0{,}273 + 0{,}271 + 0{,}280 + 0{,}286 + 0{,}281 + 0{,}298 + 0{,}298 + 0{,}299 + 0{,}304 + 0{,}312 + 0{,}305 + 0{,}329 + 0{,}290 + 0{,}297)}{15} = 0{,}043\left(\frac{м}{с^2}\right)$

По формуле (3),(4) найдем средние значения для равноускоренного движения

$v_{ср} = \frac{(0{,}445 + 0{,}444 + 0{,}451 + 0{,}415 + 0{,}427 + 0{,}417 + 0{,}381 + 0{,}374 + 0{,}379 + 0{,}346 + 0{,}343 + 0{,}347 + 0{,}310 + 0{,}313 + 0{,}309)}{15} = 0{,}380\left(\frac{м}{с}\right)$

$a_{ср} = \frac{(0{,}235 + 0{,}234 + 0{,}238 + 0{,}207 + 0{,}209 + 0{,}208 + 0{,}18 + 0{,}177 + 0{,}179 + 0{,}154 + 0{,}152 + 0{,}154 + 0{,}129 + 0{,}13 + 0{,}129)}{15} = 0{,}181\left(\frac{м}{с^2}\right)$

6.3 Средняя квадратичная погрешность отдельного измерения

$$S_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(v_i - v_{cp})^2}{N-1}}; \quad S_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(a_i - a_{cp})^2}{N-1}},$$

где N - кол-во измерений;

6.3.1 Для таблицы 4.1

Скорость груза

$$S_v = \sqrt{\frac{(0,331-0,331)^2+(0,338-0,331)^2+(0,336-0,331)^2+(0,330-0,331)^2+}{14}}$$

$$\overline{+\frac{(0,352-0,331)^2+(0,332-0,331)^2+(0,337-0,331)^2+(0,337-0,331)^2+}{14}}$$

$$\overline{+\frac{(0,338-0,331)^2+(0,330-0,331)^2+(0,338-0,331)^2+(0,331-0,331)^2+}{14}}$$

$$\overline{+\frac{(0,324-0,331)^2+(0,302-0,331)^2+(0,309-0,331)^2}{14}} = \sqrt{\frac{0,006418}{14}} = 0,015 \left(\frac{м}{с}\right)$$

Ускорение груза

$$S_a = \sqrt{\frac{(0,267-0,231)^2+(0,273-0,231)^2+(0,271-0,231)^2+(0,280-0,231)^2+}{14}}$$

$$\overline{+\frac{(0,286-0,231)^2+(0,281-0,231)^2+(0,298-0,231)^2+(0,298-0,231)^2+}{14}}$$

$$\overline{+\frac{(0,299-0,231)^2+(0,304-0,231)^2+(0,312-0,231)^2+(0,305-0,231)^2+}{14}}$$

$$\overline{+\frac{(0,329-0,231)^2+(0,290-0,231)^2+(0,297-0,231)^2}{14}} = \sqrt{\frac{0,014868}{14}} = 0,03909 \left(\frac{м}{с^2}\right)$$

6.3.2 Для таблицы 4.2.

Скорость груза

$$S_v = \sqrt{\frac{(0,445-0,380)^2+(0,444-0,380)^2+(0,451-0,380)^2+(0,415-0,380)^2+(0,427-0,380)^2+}{14}}$$

$$\overline{+\frac{(0,417-0,380)^2+(0,381-0,380)^2+(0,374-0,380)^2+(0,379-0,380)^2+(0,346-0,380)^2+}{14}}$$

$$\overline{+\frac{(0,343-0,380)^2+(0,347-0,380)^2+(0,310-0,380)^2+(0,313-0,380)^2+(0,309-0,380)^2}{14}}$$

$$= \sqrt{\frac{0,036247}{14}} = 0,0456 \left(\frac{м}{с}\right) \approx 0,05 \frac{м}{с}$$

Ускорение груза:

$$S_a = \sqrt{\frac{(0,235-0,181)^2+(0,234-0,181)^2+(0,238-0,181)^2+(0,207-0,181)^2+}{14}}$$

$$\frac{+(0,209-0,181)^2+(0,208-0,181)^2+(0,180-0,181)^2+(0,177-0,181)^2+}{14}$$

$$\frac{+(0,179-0,181)^2+(0,154-0,181)^2+(0,152-0,181)^2+(0,154-0,181)+}{14}$$

$$\frac{+(0,129-0,181)^2+(0,130-0,181)^2+(0,129-0,181)^2}{14} = \sqrt{\frac{0,021492}{14}} = 0,0392\left(\frac{м}{с^2}\right) \approx 0,09\left(\frac{м}{с^2}\right)$$

6.4 Среднее квадратичное отклонение.

$$S_{v_{ср}} = \sqrt{\frac{(v_1-v_{ср})^2+(v_2-v_{ср})^2+\ldots+(v_N-v_{ср})^2}{(N-1)\cdot N}} = \frac{S_v}{\sqrt{N}}$$

$$S_{a_{ср}} = \sqrt{\frac{(a_1-a_{ср})^2+(a_2-a_{ср})^2+\ldots+(a_N-a_{ср})^2}{(N-1)N}} = \frac{S_a}{\sqrt{N}}$$

6.4.1 Для таблицы 4.1.

$S_v \quad \Theta_v \quad S_{ср} \quad \Theta_v$

$$S_{v_{ср}} = \frac{S_v}{\sqrt{N}} = \frac{0,015}{\sqrt{15}} = 0,004\left(\frac{м}{с}\right)$$

$$S_{a_{ср}} = \frac{S_a}{\sqrt{N}} = \frac{0,039}{\sqrt{15}} = 0,010\left(\frac{м}{с^2}\right)$$

Для таблицы 4.2

$$S_{v_{ср}} = \frac{S_v}{\sqrt{N}} = \frac{0,05}{\sqrt{15}} = 0,013\left(\frac{м}{с}\right)$$

$$S_{a_{ср}} = \frac{S_a}{\sqrt{N}} = \frac{0,09}{\sqrt{15}} = 0,023\left(\frac{м}{с^2}\right)$$

В данной работе проводится измерение: скорости и ускорения, проверяем неравенства: $S_{v_i} \le \Theta_v$; $S_{v_{ср}} < \Theta_v$; $S_a \le \Theta_a$; $S_{a_{ср}} < \Theta_a$

Для таблицы 4.1.

$0,015 > 0,003$, т.е $S_v > \Theta_v$

$0,004 \approx 0,003$, т.е $S_{v_{ср}} \approx \Theta_v$

$0,04 > 0,012$, т.е $S_a > \Theta_a$

$0,010 < 0,012$, т.е $S_{a_{ср}} < \Theta_a$

Для таблицы 4.2

$0,05 > 0,005$, т.е $S_v > \Theta_v$

$0,013 > 0,005$, т.е $S_{v_{ср}} > \Theta_v$

$0,09 > 0,011$, т.е $S_a > \Theta_a$

$0,023 > 0,011$, т.е $S_{a_{ср}} > \Theta_a$

Данные неравенства говорят о том, что либо допущены незначительные промахи в измерениях; либо они возникли из-за влияния измерительных приборов на процесс измерения.

6.5 Полная погрешность

В случае проведения технических испытаний имеют дело со случайными по природе величинами, происходит разброс измеряемых параметров по различным причинам, тогда случайная погрешность серии измерений и систематическую погрешность связанную с несовершенством измерительных приборов объединяют в полную погрешность:

$$\Delta \bar{v} = \Theta_v + k \cdot S_{v_{cp}}, \text{ где}$$

k – кооффициент Стьюдента, для n 10 равный 2,3

$\Delta \bar{v}$ – полная погрешность измерений.

Тогда, для равномерного движения:

$$\Delta \bar{v} = \Theta_{v_{cp}} + k \cdot S_{v_{cp}} = 0{,}003 + 2{,}3 \cdot 0{,}004 = 0{,}0122 \approx 0{,}012 \left(\frac{м}{с}\right)$$

$$\Delta \bar{a} = \Theta_{a_{cp}} + k \cdot S_{a_{cp}} = 0{,}012 + 2{,}3 \cdot 0{,}010 = 0{,}035 \approx 0{,}04 \left(\frac{м}{с^2}\right)$$

Для равноускоренного движения.

$$\Delta \bar{v} = \Theta_{v_{cp}} + k \cdot S_{v_{cp_1}} = 0{,}005 + 2{,}3 \cdot 0{,}013 = 0{,}0349 \approx 0{,}04 \left(\frac{м}{с}\right)$$

$$\Delta \bar{a} = \Theta_{a_{cp}} + k \cdot S_{a_{cp_1}} = 0{,}011 + 2{,}3 \cdot 0{,}023 = 0{,}011 + 0{,}0529 \approx 0{,}0639 \approx 0{,}07 \left(\frac{м}{с^2}\right)$$

На графике 7.1. для равномерного движения через (крестики) удалось провести прямую, сильное отклонение имеет лишь один, а число выше и ниже прямой совпадает, значит экспериментальные данные подтверждают теоретическую зависимость; А так же в следствии опытов каждое изменение величины приемлемы.

На графике 7.2 для равноускоренного движения через (палочки) удалось провести прямую, сильных отклонений нет, а чисел выше и ниже прямой примерно одинаково. Экспериментальные данные подтверждают теоретическую зависимость.

⑦ Графическое изображение результатов

Рис 7.1 Зависимость равномерного движения

Рис 7.2 Зависимость равноускоренного движения

④ Продолжение таблиц

Таблица 4.1

Θ_v $\frac{м}{с}$	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,003	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003
Θ_a $\frac{м}{с^2}$	0,016	0,017	0,017	0,016	0,016	0,016	0,016	0,019	0,016	0,014	0,015	0,015	0,016	0,017	0,013

$v_{ср} =$

$a_{ср} =$

Таблица 4.2

Θ_v $\frac{м}{с}$	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Θ_a $\frac{м}{с^2}$	0,020	0,020	0,021	0,018	0,018	0,019	0,016	0,015	0,016	0,014	0,013	0,014	0,011	0,012	0,011

$v_{ср} =$

$a_{ср} =$

⑧ Вывод:

- Ознакомилась с методикой исследования равномерного и равноускоренного движения
- Скорость грузов при равномерном движении $v = (0,334 \pm 0,012)\frac{м}{с}$ с вероятностью $P = 95\%$
- Скорость грузов при равноускоренном движении $v = (0,38 \pm 0,04)\frac{м}{с}$ с вероятностью $P = 95\%$
- Ускорение грузов при равномерном движении $a = (0,43 \pm 0,04)$ с вероятностью $P = 95\%$
- Ускорение грузов при равноускоренном движении $a = 1,18 \pm 0,04$ с вероятностью $P = 95\%$
- Из проведенных опытов, видно, что не каждая скорость из таблицы 4.1 отличается от $v_{ср}$, или из таблицы 4.2 от $v_{ср2}$ меньше чем на Θ_v или на Θ_{v_2}; Это значит, что скорость зависит от измеряемых величин. Такая же ситуация с ускорением
- Экспериментальные данные подтверждают теоретическую зависимость, что видно из графиков для равноускоренного и равномерного движения.